

УДК 664.9.03

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-101-114

Н.А. Горбунова

М.Б. Ребезов ✉

М.И. Бабурина

Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова
Российской академии наук, Москва,
Россия

✉ m.rebezov@fnscps.ru

Поступила в редакцию: 01.11.2025

Одобрена после рецензирования: 11.02.2026

Принята к публикации: 25.02.2026

© Горбунова Н.А., Ребезов М.Б.,
Бабурина М.И.

Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (Обзор, часть 2-я)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Представлена информация о формировании некоторых из органолептических характеристик мяса — вкуса и аромате. Понимание вкуса мяса крайне важно для улучшения его качества при производстве мяса и мясопродуктов, и его анализ должен проводиться на основе комплексных химических исследований для выявления различных факторов, влияющих на состав, формирование и развитие мяса.

Методы. Поиск потенциально релевантных статей производили по ключевым словам в электронных базах на русском и иностранных языках.

Результаты. Приготовленное мясо содержит сложную смесь летучих соединений, полученных как из жирорастворимых, так и из водорастворимых компонентов. Они придают термически обработанному мясу вкусовые качества, а также характерные мясные ароматы, присущие любому приготовленному мясу.

Инновационные технологии нетермической обработки (омический нагрев, ультразвук, высокое гидростатическое давление) мясных продуктов имеют хорошие перспективы для улучшения вкуса-ароматических качеств, сокращения времени обработки и сохранения продуктов с низким содержанием соли.

Вкус мяса зависит от вида животного, пола, возраста, корма и способа обработки, и в этом отношении вкус является одним из репрезентативных показателей качества мяса.

Ключевые слова: реакция Майяра, деградация липидов, мясной аромат и вкус, химия вкуса, вкусовой фактор, анализ вкусовых качеств, летучие ароматические компоненты, мясные продукты

Для цитирования: Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Бабурина М.И. Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (Обзор, часть 2-я). *Аграрная наука*. 2026; 404(03): 101–114.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-101-114>

Review



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-101-114

Nataliya A. Gorbunova

Maksim B. Rebezov ✉

Marina I. Baburina

Gorbatov Research Center for Food
Systems, Moscow, Russia

✉ m.rebezov@fnscps.ru

Received by the editorial office: 01.11.2025

Accepted in revised: 11.02.2026

Accepted for publication: 25.06.2026

© Gorbunova N.A., Rebezov M.B.,
Baburina M.I.

The Role of Factors Affecting the Formation of Taste and Aroma of Meat Products (Review, Part 2)

ABSTRACT

Relevance. This review presents information on the formation of some of the organoleptic characteristics of meat — flavor and aroma. Understanding meat flavor is crucial for improving its quality during meat and meat product production, and its analysis should be based on comprehensive chemical studies to identify the various factors influencing meat composition, formation, and development.

Methods. A search for potentially relevant articles was conducted using keywords in Russian and foreign language electronic databases.

Results. Cooked meat contains a complex mixture of volatile compounds derived from both fat-soluble and water-soluble components. These compounds impart flavor to thermally processed meat, as well as the characteristic meat aromas inherent in any cooked meat. Innovative non-thermal processing technologies (ohmic heating, ultrasound, high hydrostatic pressure) of meat products offer promising potential for improving flavor, reducing processing time, and preserving products with low salt content. Meat flavor depends on the animal species, sex, age, feed, and processing method, and in this regard, flavor is one of the representative indicators of meat quality.

Key words: Maillard reaction, lipid degradation, meat aroma and flavor, taste chemistry, taste factor, taste analysis, volatile aroma components, meat products

For citation: Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Baburina M.I. The Role of Factors Affecting the Formation of Taste and Aroma of Meat Products (Review, Part 2). *Agrarian science*. 2026; 404(03): 101–114 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-101-114>

Введение/Introduction

Важной потребительской характеристикой пищевых продуктов, в том числе на основе мясных, является вкус и аромат. В связи с растущей потребностью в полноценных продуктах питания, сохраняя при этом вкусовые качества, пищевая промышленность ищет новые способы влияния на вкус продуктов питания.

Исследования, направленные на понимание химического состава мясного аромата, а также на определение факторов, влияющих на вкусовые качества при производстве и переработке мяса, активно развиваются с учетом совершенствования технологий, использования различных вкусоароматических добавок, пожеланий потребителей и пр. [1].

В этом номере представлена вторая часть научного обзора «Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий»¹.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Данный обзор направлен на выявление, сопоставление и синтез результатов эмпирических исследований, посвященных анализу механизмов и химических соединений, формирующих и придающих аромат и вкус мясным продуктам, прошедшим термическую и альтернативную нетермическую обработку с оценкой сенсорики восприятия запаха и вкуса человеком.

Методология подготовки научного обзора представлена в журнале «Аграрная наука»¹.

Научный обзор был разделен на части и разделы, представленные в табл. 1.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Часть 2.

5. Соединения, придающие аромат и вкус мясным продуктам, подвергнутым термической обработке

Вкус мяса формируется термическим путем, а реакция Майяра, термическое разложение липидов и взаимодействие между этими двумя

реакциями в основном отвечают за образование соединений вкуса и аромата [2]. Ароматические ноты и большинство характерных вкусов, ответственных за развитие мясного вкуса, в первую очередь вносятся летучими соединениями, возникающими в результате сложных реакций, вызванных нагреванием между нелетучими компонентами постных и жировых тканей во время приготовления [3].

Понимание химии и механизма формирования аромата и вкуса мясной продукции крайне важно для производства максимально привлекательного и стабильного мясного продукта.

Привкус жареного мяса в пищевых продуктах обычно связан с присутствием гетероциклических соединений, таких как пиразины, тиазолы и оксазолы. В летучих веществах мяса обнаружено множество различных алкилпирaziнов, а также два класса интересных бициклических соединений: 6,7-дигидро-S(H)-циклопентапирaziны и пирролопирaziны [4].

В приготовленном мясе, помимо типичных мясных нот, таких как 2-метил-3-фурантиол или бис-(2-метил-3-фуран)дисульфид, присутствуют также соединения, характеризующиеся зеленым, грибным, сладким и землистым запахами, однако в совокупности они отражают типичный характер пищевого продукта² [5].

Алкилзамещенные тиазолы, как правило, имеют более низкий порог запаха, чем пиразины [3], хотя в мясе они содержатся в более низких концентрациях. Содержание обоих классов соединений заметно возрастает с увеличением интенсивности тепловой обработки, и в хорошо прожаренном мясе, приготовленном на гриле, пиразины, как сообщалось, являются основным классом летучих веществ [3].

Вероятным путем образования алкилпирaziнов является конденсация двух молекул α-аминокетона, образующихся при расщеплении аминокислот дикарбонильными соединениями по Штрекеру). Механизм образования тиазолов, основанный на механизме, предложенном Вернином [3], включает в себя хромдикарбонилы, или гидроксикетоны,

Табл. 1. Структура научного обзора «Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий»
Table 1. Structure of the scientific review “The Role of Factors Influencing the Formation of Taste and Aroma of Meat Products”

Номер части	Наименование раздела научного обзора	Примечание
1-я	1. Восприятие запаха и вкуса человеком	Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (обзор, часть 1-я) ¹
	2. Летучие вещества, образующиеся в результате реакции Майяра	
	3. Взаимодействие липидов и реакция Майяра при приготовлении мяса	
	4. Фосфолипиды и мясной аромат. Влияние фосфолипидов на летучие вещества в модельных реакционных системах Майяра	
2-я	5. Соединения, придающие аромат и вкус мясным продуктам, подвергнутым термической обработке	-
	6. Вкусо-ароматические вещества и восприятие солёности	
	7. Влияние нетермических методов обработки на вкус и аромат мясных продуктов	
	8. Фактор животноводства при формировании вкуса мяса	

¹ Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Бабурина М.И. Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (обзор, часть 1-я). Аграрная наука. 2026; 403 (02): 135–148.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148>

² Handbook of meat, poultry and seafood quality (2nd ed.). Chichester: Wiley-Blackwell, 2007; Chapter 8.

<http://dx.doi.org/10.1002/9781118352434.ch8>.

и их реакцию с сероводородом и аммиаком, образующимися в результате гидролиза или штрекеровской деградации цистеина, и альдегидом. Одной из примечательных особенностей летучих веществ, содержащихся в приготовленном мясе, является преобладание серосодержащих соединений. Большинство из них содержится в низких концентрациях, но очень низкий порог запаха делает их сильными ароматическими соединениями и важными компонентами, придающими аромат приготовленному мясу. Сравнение вареной говядины и ростбифа показывает, что в вареном мясе содержится гораздо больше алифатических тиолов, сульфидов и дисульфидов. Гетероциклические соединения с 1, 2 или 3 атомами серы в 5- и 6-членных кольцах (например, тиофены, тритиоланы, тритиановые кислоты) гораздо чаще содержатся в вареном мясе, чем в жареном. Многие из этих соединений серы имеют низкий порог запаха и отдают серой, луком и, иногда, мясом, и они, вероятно, вносят свой вклад в общий вкус, придавая сернистые нотки, которые являются частью аромата вареного мяса [3].

Группой исследователей обобщены [6] 57 соединений для деградации липидов, описанных в литературе с помощью метода GC-O (газовая хроматография-ольфактометрия) в различных видах вареного мяса (например, говядины) при термической обработке (например, варке). После подсчета определено, что эти соединения содержали 63 алифатических альдегида, 29 кетонов, 21 спирт, 14 кислот, 12 лактонов, 9 сложных эфиров и 9 фуранов. Среди них 90 соединений в вареной говядине, в том числе 37 альдегидов, 16 кетонов, 10 спиртов, 8 кислот, 6 эфиров, 2 фуранов и 11 лактонов. Шестьдесят восемь соединений содержатся в приготовленной птице (курице, утке, гусе и индейке), в том числе 34 альдегида, 11 кетонов, 11 спиртов, 2 сложных эфира, 5 лактонов, 3 кислоты и 2 фурана. Восемьдесят соединений содержится в вареной свинине, в том числе 38 альдегидов, 12 кетонов, 8 спиртов, 8 кислот, 2 сложных эфира, 8 лактонов и 4 фурана. Пятьдесят восемь соединений содержались в вареной овце, в том числе 30 альдегидов, 7 кетонов, 6 спиртов, 9 кислот, 2 фуранов и 4 сложных эфира. Пятьдесят пять соединений содержались в других видах мяса (т. е. аллигаторах, улитках и крабах), в том числе 26 альдегидов, 14 кетонов, 6 фуранов, 4 спирта и 5 кислот. Примечательно, что наибольшее количество запахов, разрушающих липиды, было обнаружено в приготовленной говядине, за ней следуют приготовленная птица, свинина, овца и другие (аллигатор, улитка, краб).

Любое приготовленное мясо обладает желаемым «мясным» ароматом, и выявление соединений, обладающих такими характеристиками, было предметом большого количества

исследований, значительная часть которых была обусловлена необходимостью создания ароматизаторов, имитирующих мясные, для использования в обработанных пикантных пищевых продуктах. В течение некоторого времени было известно, что фураны и тиофены с тиоловой группой в 3-м положении и родственные им дисульфиды обладают сильными мясными ароматами и исключительно низкими пороговыми значениями запаха, в приготовленной говядине был идентифицирован 2-метил-3-(метилтио)фуран, который обладает низким пороговым значением запаха (0,05 пг/кг) и мясным ароматом при содержании менее 1 пг/кг [3].

Исследователи³ определили, что 2-метил-3-фурантиол и соответствующий дисульфид, бис-(2-метил-3-фуранил) дисульфид, являются основными компонентами мясного аромата приготовленной говядины. Пороговое значение запаха этого дисульфида, как сообщается, составляет 0,02 нг/кг, что является одним из самых низких известных пороговых. Другие тиолы и дисульфиды, содержащие 2-фуранилметильные фрагменты, были обнаружены в летучих компонентах при нагреве мяса. Оценка ароматов этих соединений с помощью газовой хроматографической колонки показала, что соединения, содержащие 2-метил-3-фуранильные группы, имеют мясные характеристики, в то время как соединения с 2-метилфуранильными группами 1, имеют обжаренный, ореховый, подгоревший вкус. Эти мясные и ореховые ароматы обнаруживаются при низких концентрациях (< 1 мкг/кг), но при более высоких концентрациях они воспринимаются как сернистые и неприятные. Пути, участвующие в образовании различных сульфидов и дисульфидов фурана, вероятно, представляют собой взаимодействие сероводорода с дикарбонилами, фуранонами и фурфуралами с образованием тиолов и меркаптокетонов [3].

Исследователями [7, 8] определены и проанализированы ключевые ароматические соединения с учетом активности запаха и распределение воды в говядине при различной продолжительности обжаривания от 0 до 18 мин с шагом 3 мин в электрической печи с помощью газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) в сочетании с хемометрическим анализом. На всех стадиях альдегиды и спирты имели самые высокие концентрации как в сырой, так и в жареной говядине. Всего во всех образцах было идентифицировано 47 одорантов, в том числе 14 спиртов, 18 альдегидов, 6 кетонов, 1 сложный эфир, 3 кислоты, 4 гетероциклических соединения и 1 другое соединение. Среди них были выбраны 11 ключевых ароматических соединений, а основной вклад в ключевые ароматические соединения внесли альдегиды и спирты. Основными альдегидами были

³ Gasser U., Grosch, W. Identification of volatile flavour compounds with high aroma values from cooked beef. European Food Research and Technology. 1988; 186: 489–494.

гексаналь, гептаналь, октаналь и нонаналь, причем наибольшее значение имел гексаналь. 1-пентанол, 1-гексанол, 1-гептанол, 1-октанол и 1-октен-3-ол были основными спиртами в жареной говядине. По сравнению с сырым мясом, концентрация спиртов в жареном мясе снижалась с увеличением времени обжаривания. В общей сложности было обнаружено, что ключевыми ароматизаторами в жареной говядине являются 11 ароматических соединений, включая 1-гептанол, 1-октен-3-ол, гексаналь, октаналь, (E)-2-октеналь, (E, E)-2,4-нонадиеналь, нонаналь, (E, E)-2,4-декадиеналь, метиловый эфир гексановой кислоты, 2-пентилфуран и толуол. Различные методы обжарки могут изменять концентрацию альдегидов и спиртов, но эти запахи являются наиболее важными ароматическими соединениями в жареной говядине [7–9].

Что касается куриного мяса, то были идентифицированы многие из ключевых компонентов, отвечающих за вкус, и запах, а также механизмы их образования [10]. В курином бульоне было идентифицировано 16 основных компонентов запаха, из которых 14 структурно идентифицированы. Установлено, что 2-метил-3-фурантиол, образующийся в результате реакции Майяра и окисления липидов, является наиболее важным химическим соединением, отвечающим за мясной вкус куриного бульона. Кроме того, другие летучие соединения, полученные в результате двух вышеупомянутых реакций, включают 2-фурфурилтиол, метионол, 2,4,5-триметилтиазол, нонанол, 2-транс-ноненаль, 2-формил-5-метилтиофен, *p*-крезол, 2-транс-4-транс-нонадиеналь, 2-транс-4-транс-декадиеналь, 2-ундеценаль, β -ионон, γ -декалактон и γ -додекалактон. Эти соединения, очевидно, являются основными источниками куриного вкуса [11].

В курином бульоне по сравнению с говяжьим преобладали 2-транс-4-транс-декадиеналь и γ -додекалактон [2]. Развитие вкуса и аромата мяса птицы, как и других видов мяса частично объясняется его липидами. Несколько сотен летучих соединений образуются в приготовленном мясе в результате деградации липидов, в первую очередь, окисления жирнокислотных компонентов. Такие соединения включают алифатические углеводороды, альдегиды, спирты, кетоны, сложные эфиры, карбоновые кислоты, некоторые ароматические углеводороды и кислородсодержащие гетероциклические соединения, такие как лактоны и алкилфураны [3].

Сорок одно из 193 соединений, содержащихся во вкусе жареной курицы, являются липидными альдегидами. Гексаналь и 2,4-декадиеналь являются наиболее распространенными альдегидами, обнаруженными в курином ароматизаторе, которые, как известно, являются первичными продуктами окисления линолевой кислоты. Однако 2,4-декадиеналь считается более важным одорантом для куриного ароматизатора по

сравнению с гексаналем из-за его значительно более низкого порога обоняния [2].

Основными летучими соединениями, ответственными за вкус и аромат жареной курицы, являются 3,5-диметил-1,2,4-трителиоланы, 2,4,6-триметилпергидро-1,3,5-дифтазины, 3,5-диизобутил-1,2,4-трителиолан, 3-метил-5-бутил-1,2,4-трителиолан, 3-метил-5-пентил-1,2,4-трителиолан, 2,4-декадиеналь и транс-4,5-эпокси-транс-2-деценаль. Алкилпиразины были обнаружены во вкусах и ароматах жареной курицы, но не в курином бульоне. Предполагается, что основной причиной ухудшения вкуса и образования нежелательного «привкуса подогретого» мяса в продуктах из куриного мяса является отсутствие в нем α -токоферола. Вкус жареной курицы дополнительно усиливается 2-пентилпиридином (сильный жирный и запах подобный салу), 2-изобутил-3,5-диизопропилпиридином (аромат жареного какао), 2-пентил-4-метил-5-этилтиазолом (сильный вкус перца паприки), 2-гептил-4,5-диметилтиазол (сильный пряный вкус) и 2-октил-4,5-диметилтиазол (сладкий жирный аромат) [2].

При окислении жира птицы из линолевых кислот, характерных для куриного мяса, образуются (E,E)-2,4-декадиеналь и γ -додекалактон [12].

В вареном мясе ягненок методом SPME-GC-MS было идентифицировано в общей сложности 26 летучих веществ, которые состояли из 1 спирта, 3 кетонов, 7 альдегидов, 3 фуранов, 1 углеводорода, 10 азот- и сернистых соединений и 1 терпена, были обнаружены [13].

Соединения гексаналь, гептаналь, октаналь, нонаналь, (E,E)-2,4-декадиеналь и 1-октен-3-ол были установлены как ключевые ароматизаторы в жареной утке по-пекински [14], (E)-2-октеналь, (E,Z)-2,6-нонадиеналь, октаналь, (E)-2-ноненаль и нонаналь являются ключевыми ароматизаторами в шашлыке из баранины, приготовленном на гриле [15]. Сообщалось, что нонаналь, (E)-2-октеналь, (E)-2-ноненаль, (E)-2-деценаль, (E,E)-2,4-декадиеналь, 1-октен-3-ол, гексаналь, октаналь и (E)-2-ундеценаль являются основными ароматическими веществами в тушеном козьем мясе с тимьяном [16]. Это может быть связано с их обычными более низкими пороговыми значениями запаха и более высокими концентрациями, чем у других соединений, разрушающих липиды в вареном мясе.

Температура и время приготовления (термические условия) являются важными параметрами при изменении структуры вкуса мясных продуктов. Более низкая температура приготовления требует меньшего расхода энергии, но для безопасности мяса необходима конечная внутренняя температура 65–80 °C [17]. Запекание требует высокой температуры в течение длительного времени, и образование продуктов окисления липидов также выше по сравнению с другими методами. С другой стороны, микроволновая обработка требует

меньше времени, но также вызывает окисление липидов [18].

Гетероциклические ароматические амины образуются в мясе при приготовлении при более высокой температуре, после приготовления эти соединения остаются в конечном продукте [19].

При длительном тушении говядины образуется 12-метилтридеканал, который является важным соединением с точки зрения ретроназального обоняния, поскольку отвечает за характерное ощущение сытости и вкуса. Это соединение характерно для говядины и не образуется при термической обработке свинины и мяса птицы [5].

6. Вкусо-ароматические вещества и восприятие солёности

Считается, что мясо обладает природным солёноватым привкусом. Восприятие человеком солёного вкуса в первую очередь обусловлено эпителиальными натриевыми каналами (ENaC), расположенными на специфических клетках вкусовых рецепторов в полости рта. Эти каналы определяют наличие 10 ионы натрия запускают сигнальный каскад, который, когда он превышает порог восприятия, приводит к нейронной реакции, интерпретируемой мозгом как солёный вкус. При более низких концентрациях натрия активация ENaC обычно вызывает приятные ощущения или чувство аппетита. Однако при повышении уровня натрия происходит изменение сенсорного профиля, вероятно, из-за задействования дополнительных ионных каналов или альтернативных вкусовых рецепторов, что приводит к неприятию вкуса. Этот переход служит защитным механизмом, препятствующим чрезмерному потреблению натрия [20].

Передача солёного вкуса является более сложной, чем считалось ранее. При этом могут быть задействованы как чувствительные к амилориду, так и нечувствительные к нему пути, причем последний становится особенно актуальным у людей, которые проявляют более слабую реакцию на амилорид по сравнению с грызунами. Это говорит о более широком наборе молекулярных мишеней, помимо ENaC, для восприятия вкуса соли человеком. Кроме того, в исследовании подчеркивается, что пищевые привычки, генетическая изменчивость и гормональная регуляция (например, альдостерон) могут модулировать экспрессию и функционирование ENaC, влияя на индивидуальную чувствительность к вкусу соли и предпочтения во вкусе [21].

Вкус играет ключевую роль при выборе продуктов питания. Как люди, так и животные обычно находят солёный вкус привлекательным [20]. Снижение содержания натрия в рецептурах пищевых продуктов может иметь сложные и часто нежелательные последствия для сенсорного восприятия. Ионы натрия не только обеспечивают солёность, но и подавляют восприятие горечи; таким образом снижение содержания натрия может привести к усилению горечи и снижению сладости, что

негативно сказывается на общем вкусовом балансе [22]. Эти изменения могут повлиять и на восприятие других сенсорных качеств, таких как аромат, посредством кросс-модальных взаимодействий между вкусовыми и обонятельными сигналами [20, 22]. Помимо изменения вкуса, снижение содержания натрия может повлиять на многие физико-химические и структурные показатели пищевых продуктов. В мясных продуктах натрий способствует удержанию воды, растворимости белков, обеспечивает микробиологическую стабильность и пр. [23]. Таким образом, снижение уровня соли может привести к снижению содержания влаги, ухудшению текстурных свойств и негативному влиянию на качество дрожжей и заквасок. С точки зрения безопасности пищевых продуктов, натрий также выполняет важную консервирующую функцию, снижая активность воды, что ограничивает способность микроорганизмов к порче и размножению патогенных микроорганизмов [20].

Инновационные технологии обработки пищевых продуктов имеют решающее значение для улучшения вкусовых качеств и сохранения продуктов с низким содержанием соли. Нетермические методы обработки под высоким давлением и ультразвуком являются многообещающими в этой области. Технология высокого давления, обеспечивающая обработку давлением от 100 до 1000 МПа, подавляет рост микробов и улучшает цвет, структуру и влагоудержание в продуктах с низким содержанием соли. Это также улучшает восприятие солёного вкуса, уменьшая взаимодействие ионов натрия с белками и способствуя высвобождению ионов натрия [24]. Ультразвук ускоряет диффузию соли и подавляет рост микроорганизмов, изменяя проницаемость клеточных мембран. Он значительно улучшает вкус, солёность, текстуру и переносимость ветчины с низким содержанием натрия. Несмотря на свой потенциал, эти технологии сталкиваются с такими проблемами, как высокая стоимость и необходимость дальнейшего развития сферы применения [24]. Существует возможность 3D-печати пищевых продуктов, которая может изменять текстуру пищевых продуктов, чтобы усилить их солёный вкус. Неравномерное распределение соли или сахара по пищевым продуктам может улучшить их вкусовые качества, способствуя получению более здоровой пищи с пониженным содержанием этих компонентов [25].

В ряде исследований сообщалось о способности пищевых запахов усиливать восприятие вкуса [26, 27], также возможным подходом к снижению содержания натрия в обработанных пищевых продуктах может быть использование безвкусных ароматических соединений. Этот подход основан на механизмах мультисенсорной интеграции. Интеграция между сенсорными модальностями отражается в наличии мультимодальных нейронов, которые получают сходящуюся сенсорную информацию. Например, запах клубники может

усиливать восприятие сладости, а запах соевого соуса может усиливать восприятие солёности как воспринимаемыми, так и воображаемыми запахами [27]. Вкусовая составляющая может быть вызвана ощущением запаха знакомой пищи [28]. Более того, межмодальные взаимодействия вкуса и запаха зависят не только от соответствия запаха и вкуса, но и от концентрации вкусовых соединений, что улучшает восприятие солёности [29].

Повышение солёности за счёт ароматических соединений, связанных с солью, становится все более изучаемой стратегией в пищевой науке, учитывая требования здравоохранения на снижение потребления поваренной соли. Феномен кросс-модальных взаимодействий, когда одна сенсорная модальность влияет на другую, занимает центральное место в этом подходе [30]. Запах может усиливать вкус, при этом мозг объединяет оба чувства в единое вкусовое восприятие [31]. В частности, определенные ароматы могут усиливать восприятие солёности через когнитивные ассоциации, сформированные предыдущим опытом [32]. Например, пикантные ароматы, сочетающиеся с солёным вкусом, такие как запах бекона, соевого соуса или какой-либо другой солёной пищи, обладают способностью усиливать солёность смесей NaCl и воды, особенно при низких концентрациях [30]. Несмотря на обширные исследования роли запахов, связанных с солью, в улучшении восприятия вкуса, специфическое воздействие отдельных ароматических соединений изучено недостаточно. Для определения специфических ароматических соединений в литературе использовались две основные аналитические стратегии: косвенный метод, известный как газовая хроматография/ольфактометрия вкуса, ассоциированного с запахом (GC/O-AT), и прямой метод, включающий скрининг на наличие связанных с солёностью запахов, выделяющихся ретроназально во время пероральной обработки пикантных пищевых продуктов [33].

Например, используя подход известный как газовая хроматография/ольфактометрия вкуса, ассоциированный с запахом (GC/O-AT), исследователи идентифицировали 30 различных ароматических соединений в соевом соусе, но только пять из них, как было установлено, способствуют восприятию солёности [34]. Напротив, прямой метод, применённый к Хунань Лару (копченому бекону), выявил 33 ароматических соединения, 12 из которых были способны усиливать восприятие солёного вкуса [35]. Ароматы с жирными, грибными, цветочными и фруктовыми нотами, а также серо-содержащие, азотсодержащие и фенольные отдушки, характеризующиеся пикантными, обжарочными, сульфидными, мясными или дымчатыми свойствами, как правило, были более эффективны для усиления восприятия солёности [33, 35].

В исследовании образцов жареного арахиса, куриного и овощного бульона, направленном на изучение использования специфических

ароматических соединений для улучшения восприятия солёности пищевых продуктов для снижения содержания натрия без ущерба для вкуса использовались различные ароматические соединения, в первую очередь 2-метил-3-фурантиола (аромат 1), (E, E)-2,4-декадиенала (аромат 2), а также 2,5-диметилпиразина арахиса. По результатам экспериментов было установлено следующее: 1 — добавление ароматического соединения (2,5-диметилпиразина) к образцам арахиса с пониженным содержанием поваренной соли (75% NaCl) значительно улучшило солёность, вкус умами и сладость, одновременно уменьшив ощущение горечи. Ароматические эффекты были более выраженными без использования зажима для носа, что подтверждает обонятельный эффект. 2 — в курином бульоне 2-метил-3-фурантиол успешно повышает солёность и сохраняет общий вкус, особенно при пониженном содержании поваренной соли. Напротив, (E, E)-2,4-декадиенал усиливает неприятный привкус, снижая приемлемость продукта. 3 — в овощном бульоне умеренное снижение содержания натрия хорошо переносится. 2-метил-3-фурантиол также усиливает солёность и вкус умами, в то время как (E, E)-2,4-декадиенал неизменно снижает вкусовые качества и усиливает негативные вкусовые качества. В целом, 2-метил-3-фурантиол может быть эффективен для улучшения восприятия солёности и компенсации снижения содержания натрия. (E, E)-2,4-декадиенал показал ограниченный или отрицательный эффект, что подчеркивает важность выбора соединения. Результаты подтверждают, что повышение солёности, вызываемое запахом, может быть практичным и многообещающим подходом к разработке пищевых продуктов с низким содержанием натрия без ущерба для их вкусовых качеств при разработке рецептуры продукта [21].

В исследовании Kwon G.Y. *et al.* показано, что, регулируя интенсивность солёного вкуса путем добавления глутамат натрия на слабом надпороговом уровне и/или увеличения содержания NaCl на 0,05–0,1%, глутатион значительно повысил потребительскую приемлемость говяжьего бульона [36].

7. Влияние нетермических методов обработки на вкус и аромат мясных продуктов

Способ приготовления пищи играет важную роль в формировании вкуса и влияет на приемлемость и летучие компоненты вкуса мяса птицы [37]. Использование альтернативных нетермических способов воздействия на мясное сырьё открывает новые возможности к оптимизации тепловой обработки мясных продуктов.

Вяленые окорока влажного посола по сравнению с непосоленными продуктами характеризуются значительно более низким содержанием карбонильных соединений. Также было обнаружено, что в них содержится множество летучих соединений, образующихся как в результате реакций,

происходящих в мясе, так и в результате добавления специй или процесса копчения, а именно: алканы, алкены, альдегиды, кетоны, спирты, ароматические углеводороды, карбоновые кислоты, сложные эфиры, терпены, соединения серы, фураны, пиразины, амины и хлориды. Тем не менее, лишь незначительная часть этих соединений способствует формированию характерных свойств продукта. Были идентифицированы следующие ключевые летучие вещества: терпены (1,8-цинеол, линалоол, L-карвон, коричный альдегид, ментол), содержащиеся в приправах, а также соединения серы и 3-метилбутановая кислота, образующиеся в результате реакции разложения по Штрекеру [38].

В случае сыровяленых окороков альдегиды, спирты и кетоны оказывали значительное влияние на характерный вкус готовых продуктов. Анализ показал наличие: бензальдегида, 2-гептанона, гексанала, гексанола, лимонена, 3-метилбутанала, 2-нонанона, октанола, пентанола, пропанона и бутанола [39, 40].

Летучие соединения, образующиеся в процессе созревания сыровяленых и сырокопченых колбас относятся ко многим классам. Например, в колбасе салями венгерского типа было идентифицировано 51 ключевое летучее вещество. Среди них жирные кислоты и продукты ферментации (уксусная кислота, ацетальдегид, масляная кислота и 3-метилмасляная кислота), а также продукты распада аминокислот (метиональ, фенилацетальдегид и 3-метилбутаналь) [41].

Выдержка усиливает вкус мяса за счет увеличения количества вкусовых соединений, образующихся под действием ферментов, или за счет увеличения количества летучих соединений, образующихся при расщеплении жирных кислот [42, 43].

Новейшие технологии нетермической обработки, такие как ультразвук, высокое гидростатическое давление, импульсное электрическое поле, ионизирующее излучение и атмосферная холодная плазма, в качестве альтернативы традиционной тепловой обработке сделали возможным формирование вкуса и аромата мясных изделий при щадящих режимах [44, 45], учитывая, что нетермические методы обработки пищевых продуктов не требуют высоких температур при непродолжительном периоде обработки. Благодаря этому пищевая ценность и органолептические качества пищи сохраняются более эффективно, чем при обычной термической обработке [46, 47]. Указанные передовые технологии обладают потенциалом для улучшения качества пищевых продуктов за счет катализа реакций Майяра, минимизации времени обработки, передачи тепла и массопереноса [45].

Омический нагрев является бережным, непрерывным процессом нагревания пищевых продуктов. По сравнению с обычным процессом варки продукт нагревается не через греющую

поверхность, а равномерно по всему поперечному сечению, обеспечивая значительное сокращение времени, снижение затрат энергии. В последние годы омическая обработка представляет интерес для мясной промышленности как метод обеспечения качества и безопасности мясных продуктов [48, 49].

При омической обработке тепло распределяется по всему продукту гораздо быстрее и равномернее, что, в свою очередь, приводит к лучшему сохранению аромата и целостности частиц по сравнению с традиционными процессами). Сенсорный анализ не выявил заметной разницы между образцами мясной эмульсии, нагретыми до одинаковых конечных температур при варке паром и омической обработке (3, 5 и 7 В/см). Образцы мяса индейки, приготовленные методом конвекции и омической обработкой до целевой конечной температуры 95 °С, обладают более выраженным запахом по сравнению с образцами, обработанными методом омической обработки до целевой конечной температуры 72 °С. Образцы индейки, обработанные омическим нагревом, показали более низкое окисление липидов и образование сернисто-вкусовых соединений, чем образцы, обработанные в пароварке. Это может быть объяснено длительным воздействием более высоких температур на поверхностные участки мяса и последствиями термического повреждения мембранных фосфолипидов и тепловой денатурации миофибриллярного белка при обычном нагревании. [49].

Сочетание омической и инфракрасной обработки может обеспечить улучшение качественных характеристик, включая сенсорные, образцов фрикаделек при одновременном достижении энергоэффективности и сокращении общего времени приготовления по сравнению с традиционными методами приготовления [50].

Такие методы приготовления, как обработка под высоким гидростатическим давлением, приводят к образованию большого количества пиразин, пиридин, пирролов и тиазолов по сравнению с варкой куриного мяса [2]. Оценка влияния обработки высоким давлением на вкусоароматические показатели мяса, включая куриное, было различным на протяжении многих лет. Так, *Hauman et al.* [51] показали, что обработка высоким давлением не повлияла на сенсорные качества различных мясных продуктов. Однако воздействие на куриное мясо давления 300 МПа привело к улучшению вкуса и аромата по сравнению с обработкой при 450 МПа [52]. По данным *Cheah et al.* [53], при обработке свиного фарша давлением 300 МПа не наблюдалось существенного увеличения скорости окисления липидов, но при превышении этого давления скорость интенсивно возрастала.

Schindler et al. исследовали развитие аромата у говяжьей вырезки (*m. longissimus dorsi*) и куриного мяса, обработанного под высоким давлением

400 и 600 МПа в течение 15 мин при 5 °С, в сравнении с сырым и термически обработанным мясом (нагретым до 100 °С в течение 15 мин) [54]. Анализ образцов мяса, обработанных давлением позволил выявить в общей сложности 46 вкусовых летучих веществ, в основном спирты (11), альдегиды (15) и кетоны (11), но в незначительном количестве после 14 дней хранения. В целом, говяжье мясо содержало меньше летучих веществ, также показатели окисления липидов, такие как *n*-гексаналь, пентаналь и соединения C₈, были ниже примерно в 5 раз по сравнению с образцами куриного мяса. Очевидно, что более высокая доля ПНЖК в курином мясе (28,3% по сравнению с 3,6% в говядине), а не общее содержание жира, обуславливает доминирование летучих соединений в курином мясе. Наиболее важные активные летучие вещества запаха (GC-O) были значительно ниже пороговых значений обнаружения, которые вызывают ощутимый посторонний привкус. Исследователи считают, что применение технологии высокого давления для производства высококачественных органолептически стабильных мясных продуктов является перспективным методом обработки.

Облучение влияет на вкус и аромат куриного мяса в первую очередь за счет образования свободных радикалов. Альдегиды (гексаналь, пентаналь, гептаналь, октаналь и нонаналь) и летучие соединения серы, в основном диметилтрисульфид, образующиеся во время облучения, приводят к появлению сопутствующего неприятного запаха [55]. Однако облучение электронным пучком оказало очень незначительное отрицательное воздействие на вкус предварительно нагретого мяса куриной грудки [56].

Таким образом, в процессе переработки мяса может увеличиваться количество летучих соединений, придающих продукту уникальный вкус, а механизм получения вкусовых компонентов также может меняться в зависимости от метода переработки.

8. Фактор животноводства при формировании вкуса мяса

Вкусовые качества мяса существенно различаются в зависимости от породы его происхождения. Например, мясо быков характеризуется более выраженным печеночным и кровавым запахом по сравнению с мясом телок. Это связано с содержанием таких летучих соединений, как углеводороды, альдегиды, спирты и кетоны [57, 58]. Различия во внутрикожном и подкожном жире между породами животных могут влиять на соединения, связанные со вкусом [59].

Возраст животных влияет на растворимость внутримышечного коллагена и состав жирных кислот, влияя на вкус [60].

Рацион животных оказывает большое влияние на вкусовые качества производимого мяса и, следовательно, на образующиеся летучие соединения [61, 62].

Кормление скота зерновыми увеличивает вес туши и содержание внутримышечного жира по сравнению с кормлением зелеными кормами. Говядина, полученная от животных, получавших зеленые корма, характеризуется более высоким содержанием линоленовой кислоты и более низким содержанием олеиновой и линолевой кислот, чем говядина, полученная от животных, получавших кормовые концентраты, что в конечном итоге влияет и на образующиеся летучие вещества [63, 64].

Как правило, мясо, полученное из системы органического производства, имеет вкус и аромат, которые более предпочтительны для потребителей [65]. Однако, встречаются исключения.

Мясо жвачных свободного выпаса содержит больше линоленовой кислоты и дополнительных *n*-3 полиненасыщенных жирных кислот, что приводит к негативной органолептической оценке вкуса мяса («рыбный», «травянистый» привкус, «запах дичи»), в то время как мясо жвачных, питающихся зерном, содержит больше олеиновой, линолевой и других *n*-6 полиненасыщенных жирных кислот [47, 63].

Мясо овец, пасущихся на пастбищах, богато терпенами и дитерпеноидами, тогда как мясо овец, получающих кормовые смеси, характеризуется высокой концентрацией γ -лактонов.

Sivadier G. и соавторы [66] предполагают, что 2,3-октандион может быть биомаркером, подтверждающим происхождение баранины от животных, питающихся пастбищами.

Особое влияние на формирование вкуса мяса птицы приписывается линоленовой кислоте, однако диета, богатая льняным и рапсовым маслами может оказывать отрицательное воздействие, придавая посторонний запах и вкус [67]. Напротив, положительные изменения в ароматических соединениях наблюдаются при добавлении в рацион животных токоферолов [68, 69] и травы [70]. Рацион, богатый токоферолами и селеном, предотвращает образование сернистых соединений, нежелательных в сыром мясе [71].

Говядина, полученная от крупного рогатого скота знаменитой породы Вагю, имеет более насыщенный вкус, чем мясо, полученное от молочных пород в связи с тем, что она содержит больше летучих веществ и более высокую концентрацию летучих кислот, лактонов и альдегидов по сравнению с мясом молочных пород, характеризующимся высоким содержанием альдегидов и спиртов. Это связано и со способом выращивания данной породы [72].

Характеристики мышечных волокон (миоглобина) влияют на мраморность и вкус мяса. Скорость окисления миоглобина и его содержание уникальны для каждого типа мышц; производители поддерживают высокую долю красных мышечных волокон, что приводит к увеличению его содержания и покраснению мяса [73].

Различные мышцы, полученные от одного и того же животного, различаются по вкусовым качествам. Как правило, мышцы с более высокой кинетической активностью обладают более выраженным вкусом по сравнению с менее активными мышцами [74].

Стрессовые факторы окружающей среды, эмоциональный стресс или истощение запасов гликогена в мышцах приводят к необычно высокому pH и темному пурпурно-красному цвету мяса («темная вырезка»). Стейки из верхней части вырезки и поясничной части из говядины темной вырезки имеют менее желаемый вкус, чем стейки из обычных туш. Более того, стейки из темной вырезки содержат больше посторонних привкусов, таких как «кислый», «горький» и «арахисовый», по сравнению со стейками из обычных туш [75, 76].

Выводы/Conclusions

Вкус и аромат мяса — это комплексный сенсорный атрибут, который существенно влияет на предпочтения потребителей и общее восприятие качества мяса. Они формируются в результате сложного взаимодействия между различными летучими и нелетучими соединениями, образующимися во время переработки, приготовления и хранения мяса.

Ключевыми факторами, влияющими на вкус мяса, являются продукты реакции Майяра, продукты окисления липидов и ряд аминокислот, пептидов и нуклеотидов. Эти соединения взаимодействуют, создавая различные ароматы, вкусы и общие вкусовые характеристики, которые отличают различные виды мяса и определяют их приемлемость для потребителей.

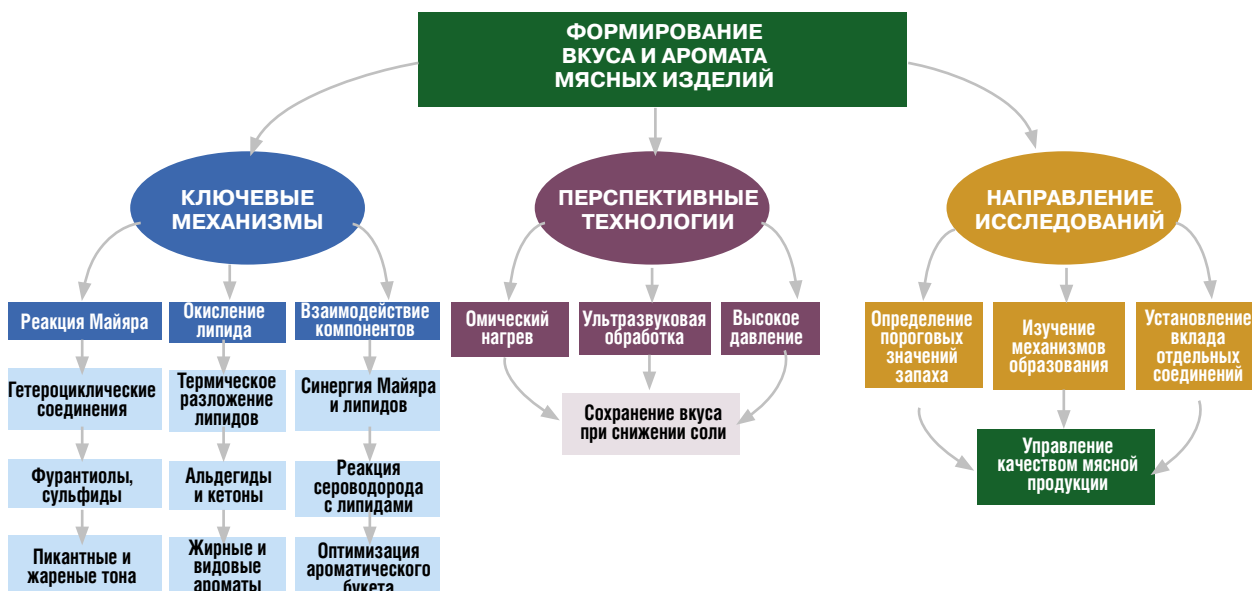
Приготовленное мясо содержит сложную смесь летучих соединений, полученных как из жирорастворимых, так и из водорастворимых

компонентов. Они придают термически обработанному мясу вкусовые качества, а также характерные мясные ароматы, присущие любому приготовленному мясу. Термическое разложение липидов приводит к образованию соединений, которые придают приготовленному мясу жирный аромат, а также соединений, определяющих вкус различных видов мяса. Реакция Майяра в основном ответственна за большое количество гетероциклических соединений, которые содержатся в летучих веществах вареного мяса и придают ему пикантный вкус, а также вкус жареного и вареного отварного мяса. Фурантиолы, а также сульфиды и дисульфиды фурана являются очень важными вкусовыми соединениями с исключительно низкими пороговыми значениями запаха, которые отвечают за характерный мясной аромат. Пытаясь понять роль реакции Майяра во вкусе мяса (и других термобработанных пищевых продуктах), исходную реакцию сахара и аминокислоты можно рассматривать как источник продуктов дегидратации сахара, главным образом фурфуралов, фуранонов и дикарбонильных соединений.

В результате сопутствующих реакций (например, деградация по Штрекеру) образуются другие простые соединения, такие как альдегиды, аммиак и сероводород. Вкус является результатом различных взаимодействий этих промежуточных продуктов. Другие компоненты мяса также могут вступать в реакцию с продуктами реакции Майяра. Альдегиды, образующиеся при окислении липидов, участвуют в реакциях этих промежуточных продуктов Майяра (особенно сероводорода и аммиака) с образованием других летучих соединений. Фосфолипиды являются важными источниками этих продуктов окисления липидов. Участвуя в таких взаимодействиях, липиды, по-видимому, контролируют образование соединений серы во

Рис. 2. Заключительная схема научного обзора

Fig. 2. Final outline of the scientific review



время приготовления мяса, и предполагается, что это обеспечивает механизм, с помощью которого концентрация важных соединений серы в приготовленном продукте поддерживается на оптимальном уровне.

Инновационные технологии нетермической обработки (омический нагрев, ультразвук, высокое гидростатическое давление) мясных продуктов имеют хорошие перспективы для улучшения вкусо-ароматических качеств, сокращения времени обработки и сохранения продуктов с низким содержанием соли.

Анализ литературных данных показывает, что в дальнейшем усилия исследователей должны быть сосредоточены на определении пороговых

значений запаха большего количества соединений с одновременным выяснением механизма их образования. Это позволит понять роль ароматизаторов в формировании аромата приготовленного мяса и улучшения качества вкуса мяса.

Выводы по проведенном обзоре (часть 1 [77] и часть 2) возможно представить в виде схемы, представленной на рисунке 2.

Представленная схема позволяет достаточно быстро понять комплексный характер формирования вкуса и аромата мясных изделий, а также перспективы дальнейших научных исследований в этой области и технологических разработок в мясной индустрии.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Научный обзор подготовлен в рамках выполнения исследований по государственному заданию Научно-исследовательских работ № FGUS-2024-0002 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kerth C.R., Miller R.K. Beef flavor: a review from chemistry to consumer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(14): 2783–2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7204>
2. Jayasena D.D., Ahn D.U., Nam K.C., Jo C. Flavour Chemistry of Chicken Meat: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2013; 26(5): 732–742. <http://doi.org/10.5713/ajas.2012.12619>
3. Mottram D.S. Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*. 1998; 62(4): 415–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4)
4. Flament I., Kohler M., Aschiero R. Sur l'arôme de viande de boeuf grillée II. Dihydro-6,7-5H-cyclopenta[b]pyrazines, identification et mode de formation. *Helvetica Chimica Acta*. 1976; 59(7): 2308–2313. <https://doi.org/10.1002/hlca.19760590703>
5. Kosowska M., Majcher M.A., Fortuna T. Volatile compounds in meat and meat products. *Food Science and Technology*. 2017; 37(1): 1–7. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.08416>
6. Sohail A. et al. Aroma compounds identified in cooked meat: A review. *Food Research International*. 2022; 157: 111385. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111385>
7. Specht K., Baltés W. Identification of Volatile Flavor Compounds with High Aroma Values from Shallow-Fried Beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1994, 42(10): 2246–2253. <https://doi.org/10.1021/jf00046a031>
8. Wang Y.-R., Luo R.-M., Wang S.-L. Water distribution and key aroma compounds in the process of beef roasting. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 978622. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.978622>
9. Liu H., Ma J., Pan T., Suleman R., Wang Z., Zhang D. Effects of roasting by charcoal, electric, microwave and superheated steam methods on (non)volatile compounds in oyster cuts of roasted lamb. *Meat Science*. 2021; 172: 108324. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108324>
10. Aliani M., Farmer L.J. Precursors of Chicken Flavor. II. Identification of Key Flavor Precursors Using Sensory Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 53(16): 6455–6462. <https://doi.org/10.1021/jf050087d>
11. Kerler J., Grosch W. Character impact odorants of boiled chicken: changes during refrigerated storage and reheating. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 1997; 205(3): 232–238. <https://doi.org/10.1007/s002170050157>
12. Chen J., Ho C.-T. The flavour of pork. Shahidi F. (ed.). *Flavor of Meat, Meat Products and Seafoods*. London: Blackie Academic & Professional. 1998; 61–83.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

This scientific review was prepared as part of the research carried out under the state assignment for scientific research work No. FGUS-2024-0002 of the V. M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences.

REFERENCES

1. Kerth C.R., Miller R.K. Beef flavor: a review from chemistry to consumer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(14): 2783–2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7204>
2. Jayasena D.D., Ahn D.U., Nam K.C., Jo C. Flavour Chemistry of Chicken Meat: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2013; 26(5): 732–742. <http://doi.org/10.5713/ajas.2012.12619>
3. Mottram D.S. Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*. 1998; 62(4): 415–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4)
4. Flament I., Kohler M., Aschiero R. Identification of alkyl-5H-6,7-dihydrocyclopenta[b]pyrazines in roasted meat flavor. Model reaction used as basis for natural product formation and new synthesis. *Helvetica Chimica Acta*. 1976; 59(7): 2308–2313 (in French). <https://doi.org/10.1002/hlca.19760590703>
5. Kosowska M., Majcher M.A., Fortuna T. Volatile compounds in meat and meat products. *Food Science and Technology*. 2017; 37(1): 1–7. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.08416>
6. Sohail A. et al. Aroma compounds identified in cooked meat: A review. *Food Research International*. 2022; 157: 111385. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111385>
7. Specht K., Baltés W. Identification of Volatile Flavor Compounds with High Aroma Values from Shallow-Fried Beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1994, 42(10): 2246–2253. <https://doi.org/10.1021/jf00046a031>
8. Wang Y.-R., Luo R.-M., Wang S.-L. Water distribution and key aroma compounds in the process of beef roasting. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 978622. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.978622>
9. Liu H., Ma J., Pan T., Suleman R., Wang Z., Zhang D. Effects of roasting by charcoal, electric, microwave and superheated steam methods on (non)volatile compounds in oyster cuts of roasted lamb. *Meat Science*. 2021; 172: 108324. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108324>
10. Aliani M., Farmer L.J. Precursors of Chicken Flavor. II. Identification of Key Flavor Precursors Using Sensory Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 53(16): 6455–6462. <https://doi.org/10.1021/jf050087d>
11. Kerler J., Grosch W. Character impact odorants of boiled chicken: changes during refrigerated storage and reheating. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 1997; 205(3): 232–238. <https://doi.org/10.1007/s002170050157>
12. Chen J., Ho C.-T. The flavour of pork. Shahidi F. (ed.). *Flavor of Meat, Meat Products and Seafoods*. London: Blackie Academic & Professional. 1998; 61–83.

13. Ma Q. *et al.* Effect of chilled and freezing pre-treatments prior to pulsed electric field processing on volatile profile and sensory attributes of cooked lamb meats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016; 37(C): 359–374. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.009>
14. Liu H. *et al.* Characterization of Key Aroma Compounds in Beijing Roasted Duck by Gas Chromatography–Olfactometry–Mass Spectrometry, Odor-Activity Values, and Aroma-Recombination Experiments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019; 67(20): 5847–5856. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01564>
15. Du W., Zhen D., Wang Y., Cheng J., Xie J. Characterization of the key odorants in grilled mutton shashlik with or without suet brushing during grilling. *Flavour and Fragrance Journal*. 2020; 36(1): 111–120. <https://doi.org/10.1002/ffj.3621>
16. Qi S., Wang P., Zhan P., Tian H. Characterization of key aroma compounds in stewed mutton (goat meat) added with thyme (*Thymus vulgaris* L.) based on the combination of instrumental analysis and sensory verification. *Food Chemistry*. 2022; 371: 131111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131111>
17. Choi H.-S. *et al.* Effect of Chicory Fiber and Smoking on Quality Characteristics of Restructured Sausages. *Food Science of Animal Resources*. 2016; 36(1): 131–136. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.1.131>
18. Tornberg E. Effects of heat on meat proteins — Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*. 2005; 70(3): 493–508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
19. Domínguez R., Gómez M., Fonseca S., Lorenzo J.M. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. *Meat Science*. 2014; 97(2): 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.023>
20. Liem D.G., Miremadi F., Keast R.S.J. Reducing Sodium in Foods: The Effect on Flavor. *Nutrients*. 2011; 3(6): 694–711. <https://doi.org/10.3390/nu3060694>
21. Sarap B. The Impact of Various Aroma Compounds on the Perception of Saltiness in Foods. Bachelor thesis. Tallinn. 2025; 42.
22. Breslin P.A.S. An evolutionary perspective on food and human taste. *Current Biology*. 2013; 23(9): R409–R418. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.010>
23. Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science*. 2006; 74(1): 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.014>
24. Liu S., Gu Y., Zheng R., Sun B., Zhang L., Zhang Y. Progress in Multisensory Synergistic Salt Reduction. *Foods*. 2024; 13(11): 1659. <https://doi.org/10.3390/foods13111659>
25. Pereira T., Barroso S., Gil M.M. Food Texture Design by 3D Printing: A Review. *Foods*. 2021; 10(2): 320. <https://doi.org/10.3390/foods10020320>
26. Salles C. Odour-taste interactions in flavour perception. Voilley A., Etiévant P. (eds.). *Flavour in Food*. Woodhead Publishing. 2006; 345–368. <https://doi.org/10.1533/9781845691400.3.345>
27. Syarifuddin A., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T. Reducing Sodium Content in Cheeses While Increasing Salty Taste and Fat Perception Using Aroma. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 873427. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.873427>
28. Stevenson R.J., Prescott J., Boakes R.A. The acquisition of taste properties by odors. *Learning and Motivation*. 1995; 26(4): 433–455. [https://doi.org/10.1016/S0023-9690\(05\)80006-2](https://doi.org/10.1016/S0023-9690(05)80006-2)
29. Nasri N., Beno N., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T. Cross-modal interactions between taste and smell: Odour-induced saltiness enhancement depends on salt level. *Food Quality and Preference*. 2011; 22(7): 678–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.05.001>
30. Hou J., Huang J., Huang T., Guo X., Huang M. Global trends and challenges in salt reduction: Exploring odor-induced saltiness enhancement as a strategy to reduce salt intake. *Trends in Food Science & Technology*. 2025; 160: 105030. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105030>
31. Sinding C., Thibault H., Hummel T., Thomas-Danguin T. Odor-Induced Saltiness Enhancement: Insights Into The Brain Chronometry Of Flavor Perception. *Neuroscience*. 2021; 452: 126–137. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.10.029>
32. Shen D. *et al.* Reduction of sodium chloride: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022; 102(10): 3931–3939. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11859>
33. Ji H. *et al.* Effectively saltiness enhanced odorants screening and prediction by database establish, sensory evaluation and deep learning method. *Food Chemistry*. 2025; 467: 142307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142307>
13. Ma Q. *et al.* Effect of chilled and freezing pre-treatments prior to pulsed electric field processing on volatile profile and sensory attributes of cooked lamb meats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016; 37(C): 359–374. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.009>
14. Liu H. *et al.* Characterization of Key Aroma Compounds in Beijing Roasted Duck by Gas Chromatography–Olfactometry–Mass Spectrometry, Odor-Activity Values, and Aroma-Recombination Experiments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019; 67(20): 5847–5856. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01564>
15. Du W., Zhen D., Wang Y., Cheng J., Xie J. Characterization of the key odorants in grilled mutton shashlik with or without suet brushing during grilling. *Flavour and Fragrance Journal*. 2020; 36(1): 111–120. <https://doi.org/10.1002/ffj.3621>
16. Qi S., Wang P., Zhan P., Tian H. Characterization of key aroma compounds in stewed mutton (goat meat) added with thyme (*Thymus vulgaris* L.) based on the combination of instrumental analysis and sensory verification. *Food Chemistry*. 2022; 371: 131111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131111>
17. Choi H.-S. *et al.* Effect of Chicory Fiber and Smoking on Quality Characteristics of Restructured Sausages. *Food Science of Animal Resources*. 2016; 36(1): 131–136. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.1.131>
18. Tornberg E. Effects of heat on meat proteins — Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*. 2005; 70(3): 493–508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
19. Domínguez R., Gómez M., Fonseca S., Lorenzo J.M. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. *Meat Science*. 2014; 97(2): 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.023>
20. Liem D.G., Miremadi F., Keast R.S.J. Reducing Sodium in Foods: The Effect on Flavor. *Nutrients*. 2011; 3(6): 694–711. <https://doi.org/10.3390/nu3060694>
21. Sarap B. The Impact of Various Aroma Compounds on the Perception of Saltiness in Foods. Bachelor thesis. Tallinn. 2025; 42.
22. Breslin P.A.S. An evolutionary perspective on food and human taste. *Current Biology*. 2013; 23(9): R409–R418. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.010>
23. Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science*. 2006; 74(1): 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.014>
24. Liu S., Gu Y., Zheng R., Sun B., Zhang L., Zhang Y. Progress in Multisensory Synergistic Salt Reduction. *Foods*. 2024; 13(11): 1659. <https://doi.org/10.3390/foods13111659>
25. Pereira T., Barroso S., Gil M.M. Food Texture Design by 3D Printing: A Review. *Foods*. 2021; 10(2): 320. <https://doi.org/10.3390/foods10020320>
26. Salles C. Odour-taste interactions in flavour perception. Voilley A., Etiévant P. (eds.). *Flavour in Food*. Woodhead Publishing. 2006; 345–368. <https://doi.org/10.1533/9781845691400.3.345>
27. Syarifuddin A., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T. Reducing Sodium Content in Cheeses While Increasing Salty Taste and Fat Perception Using Aroma. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 873427. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.873427>
28. Stevenson R.J., Prescott J., Boakes R.A. The acquisition of taste properties by odors. *Learning and Motivation*. 1995; 26(4): 433–455. [https://doi.org/10.1016/S0023-9690\(05\)80006-2](https://doi.org/10.1016/S0023-9690(05)80006-2)
29. Nasri N., Beno N., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T. Cross-modal interactions between taste and smell: Odour-induced saltiness enhancement depends on salt level. *Food Quality and Preference*. 2011; 22(7): 678–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.05.001>
30. Hou J., Huang J., Huang T., Guo X., Huang M. Global trends and challenges in salt reduction: Exploring odor-induced saltiness enhancement as a strategy to reduce salt intake. *Trends in Food Science & Technology*. 2025; 160: 105030. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105030>
31. Sinding C., Thibault H., Hummel T., Thomas-Danguin T. Odor-Induced Saltiness Enhancement: Insights Into The Brain Chronometry Of Flavor Perception. *Neuroscience*. 2021; 452: 126–137. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.10.029>
32. Shen D. *et al.* Reduction of sodium chloride: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022; 102(10): 3931–3939. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11859>
33. Ji H. *et al.* Effectively saltiness enhanced odorants screening and prediction by database establish, sensory evaluation and deep learning method. *Food Chemistry*. 2025; 467: 142307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142307>

34. Zhou T., Feng Y., Thomas-Danguin T., Zhao M. Enhancement of saltiness perception by odorants selected from Chinese soy sauce: A gas chromatography/olfactometry-associated taste study. *Food Chemistry*. 2021; 335: 127664. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127664>
35. Pu D. *et al.* Decoding of the enhancement of saltiness perception by aroma-active compounds during Hunan Larou (smoke-cured bacon) oral processing. *Food Chemistry*. 2025; 463(1): 141029. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141029>
36. Kwon G.Y., Hong J.H., Kim Y.S., Lee S.M., Kim K.O. Sensory Characteristics and Consumer Acceptability of Beef Stock Containing Glutathione Maillard Reaction Products Prepared at Various Conditions. *Journal of Food Science*. 2011; 76(1): S1–S7. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01946.x>
37. Sañudo C. *et al.* Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. *Meat Science*. 2000; 54(4): 339–346. [http://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00108-4](http://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00108-4)
38. Ramarathnam N., Rubin L.J., Diosady L.L. Studies on meat flavor. 3. A novel method for trapping volatile components from uncured and cured pork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1993; 41(6): 933–938. <http://doi.org/10.1021/jf00030a019>
39. Luna G., Aparicio R., García-González D.L. A tentative characterization of white dry-cured hams from Teruel (Spain) by SPME-GC. *Food Chemistry*. 2006; 97(4): 621–630. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.039>
40. García-González D.L., Tena N., Aparicio-Ruiz R., Morales M.T. Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams. *Meat Science*. 2008; 80(2): 315–325. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.015>
41. Söllner K., Schieberle P. Decoding the Key Aroma Compounds of a Hungarian-Type Salami by Molecular Sensory Science Approaches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009; 57(10): 4319–4327. <http://doi.org/10.1021/jf900402e>
42. Dou L. *et al.* Effects of oxidative stability variation on lamb meat quality and flavor during postmortem aging. *Journal of Food Science*. 2022; 87(6): 2578–2594. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16138>
43. Liu H. *et al.* A lipidomic and volatilomic approach to map the lipid profile and related volatile compounds in roasted quail meat using circulating non-fried roast technology. *Food Chemistry*. 2024; 461: 140948. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140948>
44. Afzal A. *et al.* The chemistry of flavor formation in meat and meat products in response to different thermal and non-thermal processing techniques: An overview. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46: e16847. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16847>
45. Hernández-Hernández H.M., Moreno-Vilet L., Villanueva-Rodríguez S.J. Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019; 58: 102233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>
46. Zhang Z.-H., Wang L.-H., Zeng X.-A., Han Z., Brennan C.S. Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019; 54(1): 1–13. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13903>
47. Khan M.I., Jo C., Tari M.R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors—A systematic review. *Meat Science*. 2015; 110: 278–284. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.002>
48. Tornberg E. Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties. *Meat Science*. 2013; 95(4): 871–878. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.053>
49. Yıldız-Turp G., Sengun I.Y., Kendirci P., Icier F. Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science*. 2013; 93(3): 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.10.013>
50. Turp G.Y., Icier F., Kor G. Influence of infrared final cooking on color, texture and cooking characteristics of ohmically pre-cooked meatball. *Meat Science*. 2016; 114: 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.006>
51. Hayman M.M., Baxter I., O’riordan P.J., Stewart C.M. Effects of High-Pressure Processing on the Safety, Quality, and Shelf Life of Ready-to-Eat Meats. *Journal of Food Protection*. 2004; 67(8): 1709–1718. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-67.8.1709>
34. Zhou T., Feng Y., Thomas-Danguin T., Zhao M. Enhancement of saltiness perception by odorants selected from Chinese soy sauce: A gas chromatography/olfactometry-associated taste study. *Food Chemistry*. 2021; 335: 127664. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127664>
35. Pu D. *et al.* Decoding of the enhancement of saltiness perception by aroma-active compounds during Hunan Larou (smoke-cured bacon) oral processing. *Food Chemistry*. 2025; 463(1): 141029. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141029>
36. Kwon G.Y., Hong J.H., Kim Y.S., Lee S.M., Kim K.O. Sensory Characteristics and Consumer Acceptability of Beef Stock Containing Glutathione Maillard Reaction Products Prepared at Various Conditions. *Journal of Food Science*. 2011; 76(1): S1–S7. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01946.x>
37. Sañudo C. *et al.* Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. *Meat Science*. 2000; 54(4): 339–346. [http://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00108-4](http://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00108-4)
38. Ramarathnam N., Rubin L.J., Diosady L.L. Studies on meat flavor. 3. A novel method for trapping volatile components from uncured and cured pork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1993; 41(6): 933–938. <http://doi.org/10.1021/jf00030a019>
39. Luna G., Aparicio R., García-González D.L. A tentative characterization of white dry-cured hams from Teruel (Spain) by SPME-GC. *Food Chemistry*. 2006; 97(4): 621–630. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.039>
40. García-González D.L., Tena N., Aparicio-Ruiz R., Morales M.T. Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams. *Meat Science*. 2008; 80(2): 315–325. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.015>
41. Söllner K., Schieberle P. Decoding the Key Aroma Compounds of a Hungarian-Type Salami by Molecular Sensory Science Approaches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009; 57(10): 4319–4327. <http://doi.org/10.1021/jf900402e>
42. Dou L. *et al.* Effects of oxidative stability variation on lamb meat quality and flavor during postmortem aging. *Journal of Food Science*. 2022; 87(6): 2578–2594. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16138>
43. Liu H. *et al.* A lipidomic and volatilomic approach to map the lipid profile and related volatile compounds in roasted quail meat using circulating non-fried roast technology. *Food Chemistry*. 2024; 461: 140948. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140948>
44. Afzal A. *et al.* The chemistry of flavor formation in meat and meat products in response to different thermal and non-thermal processing techniques: An overview. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46: e16847. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16847>
45. Hernández-Hernández H.M., Moreno-Vilet L., Villanueva-Rodríguez S.J. Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019; 58: 102233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>
46. Zhang Z.-H., Wang L.-H., Zeng X.-A., Han Z., Brennan C.S. Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019; 54(1): 1–13. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13903>
47. Khan M.I., Jo C., Tari M.R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors—A systematic review. *Meat Science*. 2015; 110: 278–284. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.002>
48. Tornberg E. Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties. *Meat Science*. 2013; 95(4): 871–878. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.053>
49. Yıldız-Turp G., Sengun I.Y., Kendirci P., Icier F. Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science*. 2013; 93(3): 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.10.013>
50. Turp G.Y., Icier F., Kor G. Influence of infrared final cooking on color, texture and cooking characteristics of ohmically pre-cooked meatball. *Meat Science*. 2016; 114: 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.006>
51. Hayman M.M., Baxter I., O’riordan P.J., Stewart C.M. Effects of High-Pressure Processing on the Safety, Quality, and Shelf Life of Ready-to-Eat Meats. *Journal of Food Protection*. 2004; 67(8): 1709–1718. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-67.8.1709>

52. Kruk Z.A., Yun H., Rutley D.L., Lee E.J., Kim Y.J., Jo. C. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control*. 2011; 22(1): 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.06.003>
53. Cheah P.B., Ledward D.A. High pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Science*. 1996; 43(2): 123–134. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)84584-0](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)84584-0)
54. Schindler S., Krings U., Berger R.G., Orlin V. Aroma development in high pressure treated beef and chicken meat compared to raw and heat treated. *Meat Science*. 2010; 86(2): 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.036>
55. Patterson R.L.S., Stevenson M.H. Irradiation-induced off-odor in chicken and its possible control. *British Poultry Science*. 1995; 36(3): 425–441. <https://doi.org/10.1080/00071669508417789>
56. Rababah T., Hettiarachchy N.S., Horax R., Cho M.J., Davis B., Dickson J. Thiobarbituric Acid Reactive Substances and Volatile Compounds in Chicken Breast Meat Infused with Plant Extracts and Subjected to Electron Beam Irradiation. *Poultry Science*. 2006; 85(6): 1107–1113. <https://doi.org/10.1093/ps/85.6.1107>
57. Gorraiz C., Beriain M.J., Chasco J., Insausti K. Effect of Aging Time on Volatile Compounds, Odor, and Flavor of Cooked Beef from Pirenaica and Friesian Bulls and Heifers. *Journal of Food Science*. 2002; 67(3): 916–922. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09428.x>
58. Arshad M.S. *et al.* Ruminant meat flavor influenced by different factors with special reference to fatty acids. *Lipids in Health and Disease*. 2018; 17: 223. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0860-z>
59. Jayasena D.D., Nam K.C., Kim J.J., Ahn H., Jo C. Association of carcass weight with quality and functional properties of beef from Hanwoo steers. *Animal Production Science*. 2015; 55(5): 680–690. <https://doi.org/10.1071/AN13411>
60. Jaborek J.R., Zerby H.N., Wick M.P., Fluharty F.L., Moeller S.J. Effect of energy source and level, animal age, and sex on the flavor profile of sheep meat. *Translational Animal Science*. 2020; 4(2): 1140–1147. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa081>
61. Wood J.D. *et al.* Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*. 2008; 78(4): 343–358. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
62. Дорохин Н.А. Качественные характеристики мяса цыплят-бройлеров и факторы, влияющие на них: обзор. *Сельскохозяйственный журнал*. 2020; (5): 59–64. EDN ZTYGU
63. Elmore J.S., Warren H.E., Mottram D.S., Scollan N.D., Enser M., Richardson R.I., Wood J.D. A comparison of the aroma volatiles and fatty acid compositions of grilled beef muscle from Aberdeen Angus and Holstein-Friesian steers fed diets based on silage or concentrates. *Meat Science*. 2004; 68(1): 27–33. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.010>
64. Watkins P.J., Frank D., Singh T.K., Young O.A., Warner R.D. Sheepmeat Flavor and the Effect of Different Feeding Systems: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013; 61(15): 3561–3579. <https://doi.org/10.1021/jf303768e>
65. Horsted K., Allesen-Holm B.H., Hermansen J.E., Kongsted A.G. Sensory profiles of breast meat from broilers reared in an organic niche production system and conventional standard broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012; 92(2): 258–265. <http://doi.org/10.1002/jsfa.4569>
66. Sivadier G., Ratel J., Engel E. Persistence of pasture feeding volatile biomarkers in lamb fats. *Food Chemistry*. 2010; 118(2): 418–425. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.088>
67. Kostecka M., Łobacz M. Lipidy mięsa kurzego — tłuszcz nie(d) oceniony. Cz. I. Charakterystyka tłuszczu kurzego i wybrane metody modyfikacji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*. 2009; 1: 98–103.
68. Сандул П.А., Горидовцев Е.В. Липидный состав и физико-химические особенности мяса цыплят-бройлеров при скармливании токоферолов. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Сборник трудов по материалам национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора биологических наук, профессора, Заслуженного работника Высшей школы РФ, Почетного работника высшего профессионального образования РФ, Почетного гражданина Брянской области Егора Павловича Ващекина*. Брянск: Брянский ГАУ. 2022; 1: 179–184. EDN UBKELR
52. Kruk Z.A., Yun H., Rutley D.L., Lee E.J., Kim Y.J., Jo. C. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control*. 2011; 22(1): 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.06.003>
53. Cheah P.B., Ledward D.A. High pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Science*. 1996; 43(2): 123–134. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)84584-0](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)84584-0)
54. Schindler S., Krings U., Berger R.G., Orlin V. Aroma development in high pressure treated beef and chicken meat compared to raw and heat treated. *Meat Science*. 2010; 86(2): 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.036>
55. Patterson R.L.S., Stevenson M.H. Irradiation-induced off-odor in chicken and its possible control. *British Poultry Science*. 1995; 36(3): 425–441. <https://doi.org/10.1080/00071669508417789>
56. Rababah T., Hettiarachchy N.S., Horax R., Cho M.J., Davis B., Dickson J. Thiobarbituric Acid Reactive Substances and Volatile Compounds in Chicken Breast Meat Infused with Plant Extracts and Subjected to Electron Beam Irradiation. *Poultry Science*. 2006; 85(6): 1107–1113. <https://doi.org/10.1093/ps/85.6.1107>
57. Gorraiz C., Beriain M.J., Chasco J., Insausti K. Effect of Aging Time on Volatile Compounds, Odor, and Flavor of Cooked Beef from Pirenaica and Friesian Bulls and Heifers. *Journal of Food Science*. 2002; 67(3): 916–922. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09428.x>
58. Arshad M.S. *et al.* Ruminant meat flavor influenced by different factors with special reference to fatty acids. *Lipids in Health and Disease*. 2018; 17: 223. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0860-z>
59. Jayasena D.D., Nam K.C., Kim J.J., Ahn H., Jo C. Association of carcass weight with quality and functional properties of beef from Hanwoo steers. *Animal Production Science*. 2015; 55(5): 680–690. <https://doi.org/10.1071/AN13411>
60. Jaborek J.R., Zerby H.N., Wick M.P., Fluharty F.L., Moeller S.J. Effect of energy source and level, animal age, and sex on the flavor profile of sheep meat. *Translational Animal Science*. 2020; 4(2): 1140–1147. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa081>
61. Wood J.D. *et al.* Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*. 2008; 78(4): 343–358. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
62. Dorohin N.A. Quality characteristics of broiler chicken meat and their influencing factors: an overview. *Agricultural Journal*. 2020; (5): 59–64 (in Russian). EDN ZTYGU
63. Elmore J.S., Warren H.E., Mottram D.S., Scollan N.D., Enser M., Richardson R.I., Wood J.D. A comparison of the aroma volatiles and fatty acid compositions of grilled beef muscle from Aberdeen Angus and Holstein-Friesian steers fed diets based on silage or concentrates. *Meat Science*. 2004; 68(1): 27–33. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.010>
64. Watkins P.J., Frank D., Singh T.K., Young O.A., Warner R.D. Sheepmeat Flavor and the Effect of Different Feeding Systems: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013; 61(15): 3561–3579. <https://doi.org/10.1021/jf303768e>
65. Horsted K., Allesen-Holm B.H., Hermansen J.E., Kongsted A.G. Sensory profiles of breast meat from broilers reared in an organic niche production system and conventional standard broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012; 92(2): 258–265. <http://doi.org/10.1002/jsfa.4569>
66. Sivadier G., Ratel J., Engel E. Persistence of pasture feeding volatile biomarkers in lamb fats. *Food Chemistry*. 2010; 118(2): 418–425. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.088>
67. Kostecka M., Łobacz M. Lipids of chicken meat — invaluable fat. Part I. Characteristics of chicken fat and selected modification methods. *Advances in Food Processing Technology*. 2009; 1: 98–103 (in Polish).
68. Sandul P.A., Goridovets E.V. Lipid composition and physico-chemical features of broiler chicken meat at feeding of tocopherols. *Actual problems of intensive development of animal husbandry. Collection of papers based on the materials of the national scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Citizen of the Bryansk Region E.P. Vashchekin*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2022; 1: 179–184 (in Russian). EDN UBKELR

69. Темираев Р.Б., Цогоева Ф.Н., Баева А.А., Кожоков М.К., Арамисов А.М., Пилов А.Х. Влияние селенита натрия, токоферола и пробиотика на антиоксидантный статус сельскохозяйственной птицы. *Научный журнал КубГАУ*. 2013; 87: 376–385. EDN RCEVIH

70. Maślanko W., Pisarski R.K. The effect of herbs on the share of abdominal fat and its fatty acid profile in broiler chickens. *Annales UMCS, Zootechnica*. 2009; 27(3): 28–34. <http://doi.org/10.2478/v10083-009-0013-y>

71. Wojtasik-Kalinowska I. et al. Volatile compounds and fatty acids profile in *Longissimus dorsi* muscle from pigs fed with feed containing bioactive components. *LWT - Food Science and Technology*. 2016; 67: 112–117. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.023>

72. Sato M. et al. Study on factors related to beef quality—On the flavor and umami taste of Japanese Black cattle branded beef. *Animal Science and Technology*. 1995; 66(3): 274–282 (на яп. яз.).

73. Legako J.F. et al. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles. *Meat Science*. 2015; 100: 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.026>

74. Castellini C., Berri C., Le Bihan-Duval E., Martino G. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poultry Science Journal*. 2008; 64(4): 500–512. <http://doi.org/10.1017/S0043933908000172>

75. Wulf D.M., Emmett R.S., Leheska J.M., Moeller S.J. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*. 2002; 80(7): 1895–1903. <https://doi.org/10.2527/2002.8071895x>

76. Ляпин О.А., Торшков А.А., Тайгузин Р.Ш., Ляпина В.О. Коррекция стрессов и ее влияние на качественные достоинства мяса бычков в условиях интенсивной технологии. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (5): 196–201. EDN UTUYFE

77. Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Бабурина М.И. Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (обзор, часть 1-я). *Аграрная наука*. 2026; 403(02): 135–148. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148>

ОБ АВТОРАХ:

Наталья Анатольевна Горбунова

кандидат технических наук, ученый секретарь
n.gorbunova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4249-9316>

Максим Борисович Ребезов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Марина Ивановна Бабурина

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
m.baburina@fncps.ru

Федеральный научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

69. Temiraev R.B., Tsogoeva F.N., Baeva A.A., Kozhokov M.K., Aramisov A.M., Pilov A.Kh. Sodium selenite, tocoferol and probiotic affect on the antioxidant status of the agricultural poultry. *Scientific Journal of KubSAU*. 2013; 87: 376–385 (in Russian). EDN RCEVIH

70. Maślanko W., Pisarski R.K. The effect of herbs on the share of abdominal fat and its fatty acid profile in broiler chickens. *Annales UMCS, Zootechnica*. 2009; 27(3): 28–34. <http://doi.org/10.2478/v10083-009-0013-y>

71. Wojtasik-Kalinowska I. et al. Volatile compounds and fatty acids profile in *Longissimus dorsi* muscle from pigs fed with feed containing bioactive components. *LWT - Food Science and Technology*. 2016; 67: 112–117. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.023>

72. Sato M. et al. Study on factors related to beef quality—On the flavor and umami taste of Japanese Black cattle branded beef. *Animal Science and Technology*. 1995; 66(3): 274–282 (in Japanese).

73. Legako J.F. et al. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles. *Meat Science*. 2015; 100: 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.026>

74. Castellini C., Berri C., Le Bihan-Duval E., Martino G. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poultry Science Journal*. 2008; 64(4): 500–512. <http://doi.org/10.1017/S0043933908000172>

75. Wulf D.M., Emmett R.S., Leheska J.M., Moeller S.J. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*. 2002; 80(7): 1895–1903. <https://doi.org/10.2527/2002.8071895x>

76. Lyapina O.A., Torshkov A.A., Taiguzin R.Sh., Lyapina V.O. Stress correction and its effect on beef qualities of steers kept under conditions of intensive technology. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (5): 196–201 (in Russian). EDN UTUYFE

77. Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Baburina M.I. The Role of Factors Affecting the Formation of Taste and Aroma of Meat Products (review, part 1). *Agrarian science*. 2026; 403(02): 135–148 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148>

ABOUT THE AUTHORS:

Natalia Anatolyevna Gorbunova

Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary
n.gorbunova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4249-9316>

Maksim Borisovich Rebezov

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Marina Ivanovna Baburina

Candidate of biological sciences, leading research scientist
m.baburina@fncps.ru

Gorbatov Research Center for Food Systems,
26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia